

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE ESQUEMAS DE MODULACIÓN ADAPTATIVOS EN LTE

Víctor Torres, Fermín Esparza, Francisco Falcone

torres.47646@e.unavarra.es¹, esparza.47305@e.unavarra.es¹, francisco.falcone@unavarra.es¹

⁽¹⁾ Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Edificio Los Tejos, 1 Planta, Campus Arrosadia, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, 31006, Navarra

Abstract- In this work, the behaviour of several modulation schemes used in 3GPP R8 or Long Term Evolution (LTE) Systems is analyzed. In order to increase the capacity of future mobile networks, high order modulation schemes like 64-QAM are envisaged, which have more stringent Signal-to-Noise restrictions. System simulation results for various modulation schemes regarding Error Vector Magnitude (EVM) values and constellation behaviour are obtained, showing dependence of quality degradation with bit rate, interference ratio and relative constellation position of the symbols. These results, related to constellation behaviour, can aid in the future design of high data rate mobility systems based on LTE.

I. INTRODUCCIÓN

Los nuevos sistemas de comunicaciones inalámbricas se centran en mejorar el acceso universal radio terrestre (UTRA) y en la optimización de su arquitectura. Mayores anchos de banda de transmisión y el aumento de la tasa binaria son objetivos primordiales. LTE (Long Term Evolution) se presenta como un nuevo estándar para sistemas móviles basados en la norma 3GPP (Release 8 y posteriores) orientado a cumplir todas estas nuevas expectativas [1].

Una de las novedades de LTE es la utilización de OFDM en el enlace descendente (Downlink) y de SC-FDMA en el enlace ascendente (Uplink) [1,2]. El uso de sistemas de modulación de orden superior como 16-QAM y 64-QAM son necesarios en esta interfaz radioeléctrica para conseguir aumentar la velocidad de transmisión de los datos. Modulaciones de más alto nivel proporcionan mayor número de bits eficaces por símbolo y por lo tanto mayor tasa binaria. Por el contrario, estas modulaciones presentan constelaciones más complejas y son más sensibles a interferencias, por lo que necesitarán mayores requisitos de potencia para mantener el mismo EVM (Error Vector Magnitude) representado en la Figura 1. El EVM representa la diferencia vectorial entre la posición ideal del símbolo en la constelación frente al valor detectado en condiciones no ideales de interferencia, cuantificado como el módulo del vector diferencia entre ambos. Cabe destacar que está directamente ligado al porcentaje de error de los símbolos y nos da una idea de la complejidad de la modulación [2,3].

En este trabajo se analizará el rendimiento de estos esquemas de modulación para su utilización en futuros sistemas LTE basados en modulaciones y códigos adaptativos (AMC). Se presentarán resultados para las diferentes modulaciones contempladas en la norma, en

función de diferentes condiciones de interferencia (SNR recibidos) y velocidades de transmisión, todo ello simulado en un entorno real para dar veracidad a los datos.

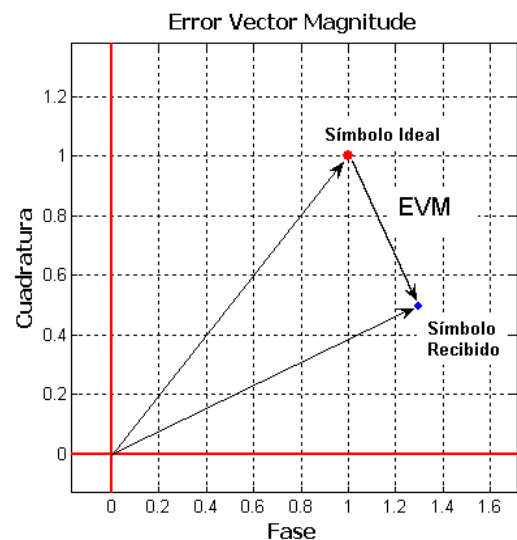


Fig. 1. Representación del EVM

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y CONSTELACIONES

La degradación de la señal en el medio, así como la velocidad de transmisión de datos o la frecuencia de portadora son factores a tener en cuenta a la hora de comparar las diferentes modulaciones. Para este análisis se ha implementado un sistema de transmisión y recepción LTE en Matlab con una casuística real.

Este sistema se compone de tres partes principalmente. En primer lugar el modulador. Un flujo aleatorio de bits es introducido a una velocidad entre 1 y 10 Mbps para posteriormente ser modulado por uno de los esquemas a estudio con una frecuencia de portadora de 2 Ghz. En segundo lugar, esta señal es enviada a un canal radioeléctrico [4] en el que sufrirá la distorsión propia del medio además de la influencia de las interferencias, provocadas por el multitrayecto y por el ruido del canal. Por último la señal es demodulada previo paso por un ecualizador y un amplificador de bajo ruido. Se presenta en la figura 2 un esquema del sistema considerado, en el cual se enfatiza la modulación adaptativa y por lo tanto, las diferentes constelaciones, que es el objeto del presente trabajo.

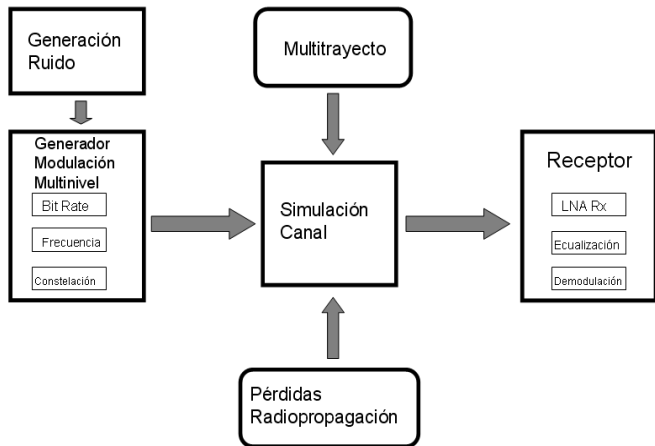


Fig. 2. Esquema de simulación empleado para la caracterización de los diferentes esquemas de modulación.

Desde el punto de vista de parámetros críticos en el comportamiento de las modulaciones y obtenido por el esquema mostrado en la figura 2, cabe destacar la complejidad del esquema de modulación, el efecto de interferencia inter/intra sistema (modelado con el generador de ruido), así como la complejidad del entorno radioeléctrico definido en la simulación de canal.

A continuación se muestran en las Figuras 3 a 8 las diferentes constelaciones para QPSK, 16-QAM y 64-QAM para un flujo de bits transmitido por el mismo canal.

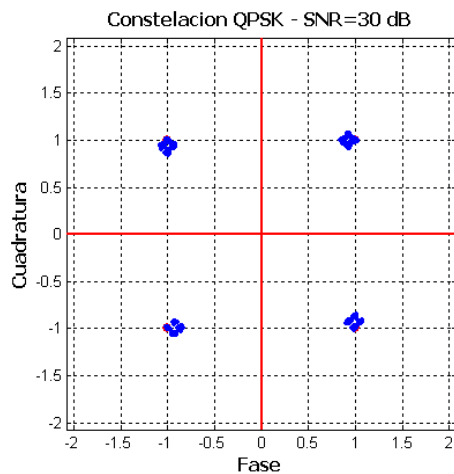


Fig. 3. Representación de la constelación en fase y cuadratura para QPSK considerando una SNR=30 dB

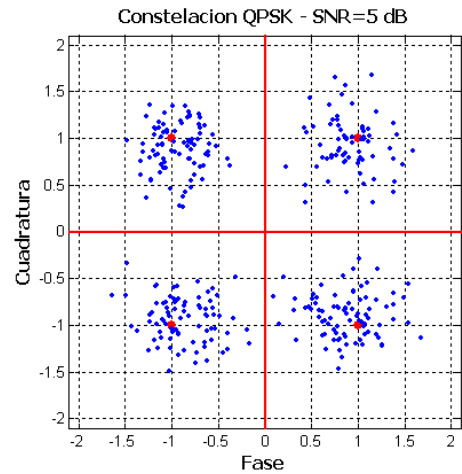


Fig. 4. Representación de la constelación en fase y cuadratura para QPSK considerando una SNR=5 dB

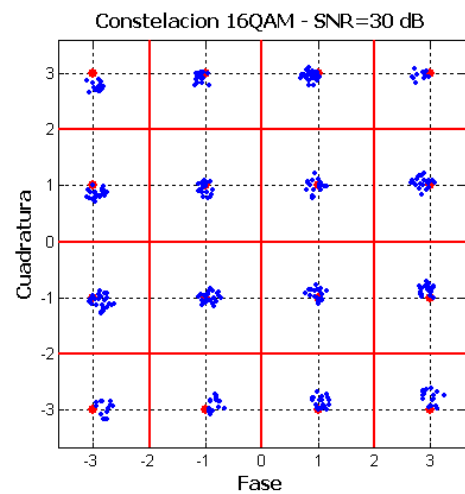


Fig. 5. Representación de la constelación en fase y cuadratura para 16-QAM considerando una SNR=30 dB

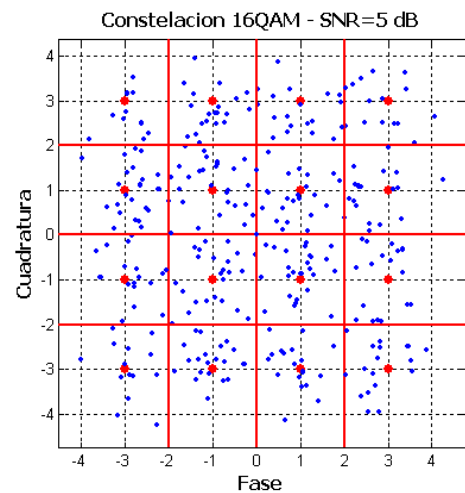


Fig. 6. Representación de la constelación en fase y cuadratura para 16-QAM considerando una SNR=5 dB

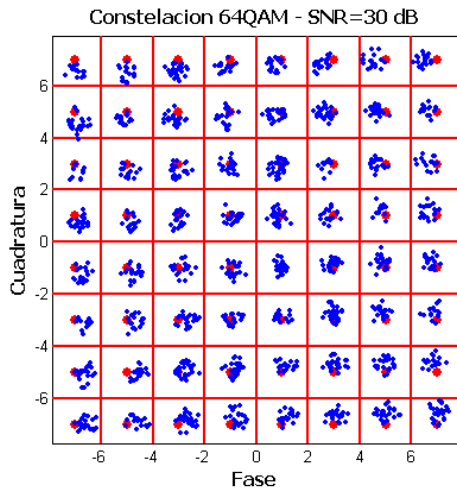


Fig. 7. Representación de la constelación en fase y cuadratura para 64-QAM considerando una SNR=30 dB

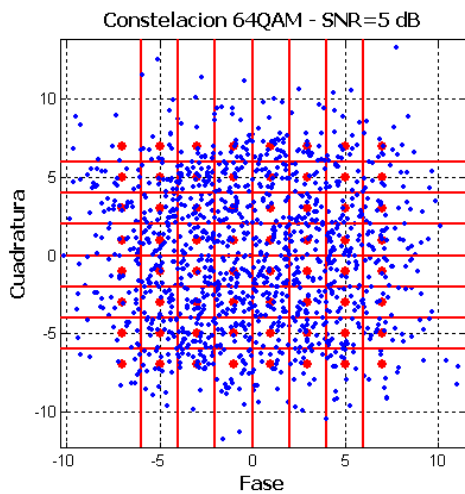


Fig. 8. Representación de la constelación en fase y cuadratura para 64-QAM considerando una SNR=5 dB

En los resultados anteriores se observa como conforme la SNR baja la constelación se degrada. Una de las principales razones del aumento de la SNR es el acceso al medio de más usuarios así como la cantidad de tráfico que está siendo gestionado por cada uno de ellos. Conforme la constelación se hace más compleja la degradación de los símbolos se hace más severa. Por este motivo para una correcta demodulación de los datos, será necesario transmitir más potencia a medida que utilizamos constelaciones de orden superior.

III. MODULACIONES Y CÓDIGOS ADAPTATIVOS

LTE, al igual que estándares anteriores (desde Release 5) de 3GPP, utiliza modulaciones y códigos adaptativos (AMC) para mejorar las prestaciones y disminuir el número de errores en el canal. Se puede ver como el EVM varía en función de la posición del símbolo en la constelación. A priori, los símbolos más exteriores presentan más inmunidad frente al ruido y las interferencias externas. El buen aprovechamiento de todos los símbolos de la constelación supondrá una mejora en el rendimiento del sistema. En las Figuras 9, 10 y 11 se pueden observar los resultados

obtenidos del EVM en función del símbolo para las modulaciones QPSK, 16-QAM y 64-QAM.

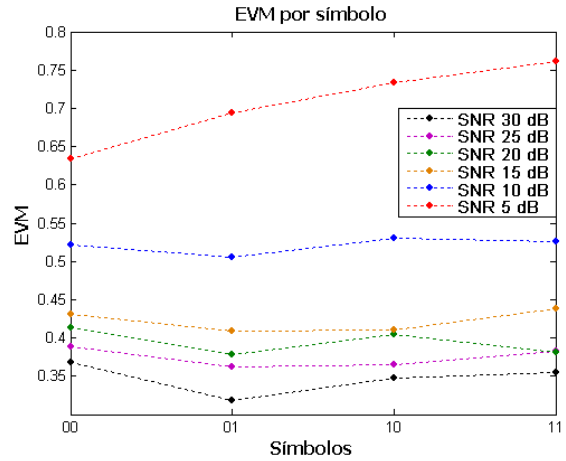


Fig. 9. Valores de EVM por símbolo en la constelación QPSK para diferentes valores de SNR.

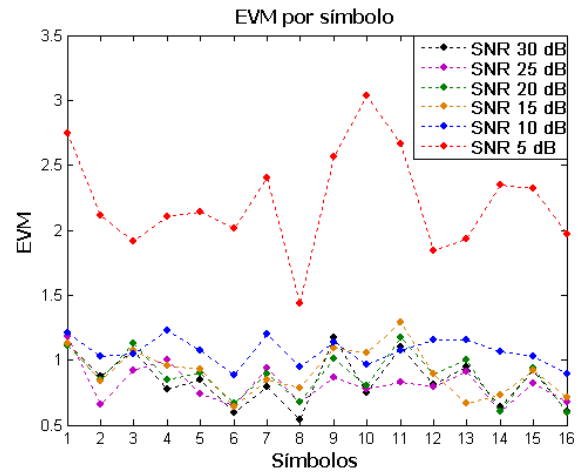


Fig. 10. Valores de EVM por símbolo en la constelación 16-QAM para diferentes valores de SNR.

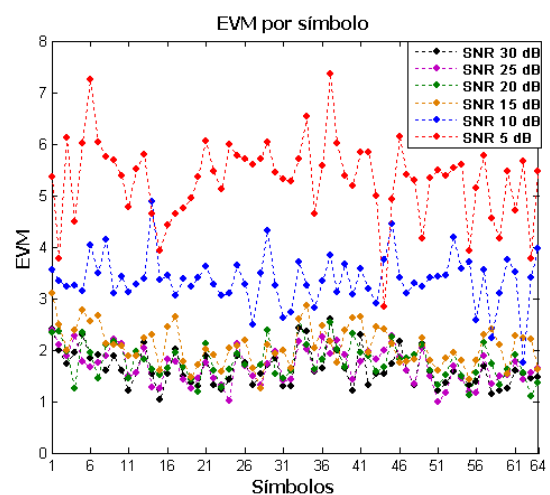


Fig. 11. Valores de EVM por símbolo en la constelación 64-QAM para diferentes valores de SNR.

Como se puede observar, para QPSK cuya geometría es idéntica para todos los símbolos, el valor del EVM por símbolo es similar para todos ellos. Por el contrario, en las

modulaciones 16-QAM y 64-QAM se puede comprobar como hay símbolos que presentan una degradación mayor o menor condicionando su uso también al valor de la SNR.

IV. EVOLUCIÓN DEL BIT RATE Y VARIABILIDAD EN EL EVM

Para modulaciones de orden superior, el valor del EVM es mayor. Del mismo modo, al aumentar las interferencias, es decir, para SNR más bajas, el EVM también aumenta, lo que supone una utilización menos eficiente de la modulación, y en consecuencia una disminución de la tasa de bits (bit rate) efectiva del sistema. De esta forma, dependiendo de las condiciones generales del medio, será más recomendable utilizar un tipo de modulación que otra. Con el fin de conocer este tipo de comportamiento en las Figuras 12 y 13 se muestra la evolución del EVM y su desviación típica en función de la modulación y diferentes valores de SNR, para dos velocidades de transmisión diferentes. Cabe destacar como cuando la SNR aumenta el valor del EVM tiende a un único límite y a una misma desviación típica.

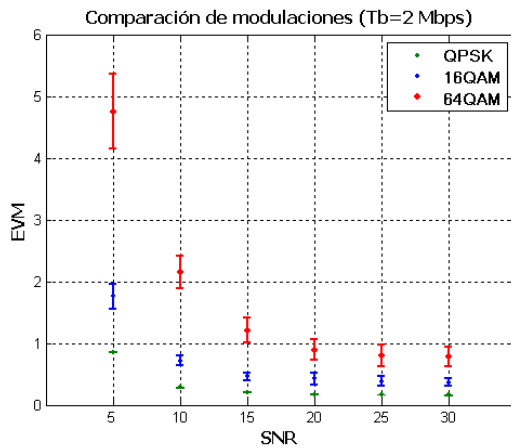


Fig. 12. Comparación del EVM para QPSK, 16-QAM y 64-QAM con una tasa binaria de 2Mbps.

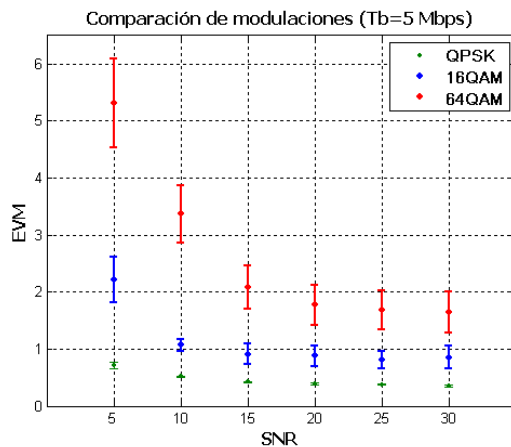


Fig. 13. Comparación del EVM para QPSK, 16-QAM y 64-QAM con una tasa binaria de 5Mbps.

Por último, en las Tablas 1 y 2 se presentan los datos obtenidos de los valores de los EVM y su desviación típica para diversas tasas binarias y SNRs para cada uno de los sistemas de modulación en LTE. El objetivo es conocer cuando será conveniente utilizar un sistema u otro atendiendo a un compromiso entre la tasa de bit y la sensibilidad del

receptor, sin sobrepasar un valor de EVM deseado. El cálculo del valor de EVM se ha realizado considerando las componentes vectoriales para cada uno de los símbolos de la constelación y posteriormente correlándolas con la posición ideal sin desviaciones producidas por la suma de interferencia total del sistema.

Modulación	Velocidad (Mbps)	SNR (dB)		
		30	15	5
QPSK	1	0,0852	0,1339	0,3584
	2	0,1622	0,2080	0,8553
	5	0,3472	0,4219	0,7057
	10	0,5716	0,6060	0,8848
16QAM	1	0,1811	0,2879	0,7924
	2	0,3666	0,4572	1,7555
	5	0,8488	0,9108	2,2207
	10	1,2909	1,3625	1,7331
64QAM	1	0,4048	0,9567	2,9147
	2	0,7767	1,2104	4,7499
	5	1,6406	2,0841	5,3093
	10	2,6370	2,9056	7,1312

Tabla 1. Comparación del EVM para diversos esquemas de modulación, SNRs y tasas binarias en LTE.

Modulation	Velocidad (Mbps)	SNR (dB)		
		30	15	5
QPSK	1	0,0072	0,0058	0,0177
	2	0,0126	0,0080	0,0120
	5	0,0212	0,0145	0,0553
	10	0,0560	0,0110	0,0100
16QAM	1	0,0413	0,0425	0,1030
	2	0,0628	0,0565	0,2052
	5	0,1987	0,1828	0,3998
	10	0,2660	0,3251	0,3077
64QAM	1	0,0835	0,1218	0,4315
	2	0,1625	0,2004	0,6018
	5	0,3605	0,3835	0,7821
	10	0,7014	0,6106	1,0321

Tabla 2. Comparación de la desviación típica del EVM para diversos esquemas de modulación, SNRs y tasas binarias en LTE.

V. CONCLUSIONES

El uso de esquemas de modulación de alto orden es de uso obligado en los nuevos sistemas 3GPP LTE R8 así como en las futuras normas de los sistemas de comunicaciones inalámbricas. El uso de modulaciones como 16-QAM o 64-QAM permiten aumentar la velocidad de bit a costa de mayores limitaciones en cuanto a recepción de la señal. En este trabajo se han presentado valores del EVM (muestra información sobre la inmunidad de las modulaciones frente a las interferencias) para varios valores de SNR y velocidades de bit de datos de usuario. Esta información es útil para el estudio e implantación de sistemas de alta capacidad, basados en modulaciones y códigos adaptativos ya que conociendo las limitaciones de cada modulación se puede conseguir la tasa de bits óptima para cada entorno.

REFERENCIAS

- [1] 3GPP Release 8, <http://www.3gpp.org/Release-8>
- [2] Molisch, A.F., "Wireless Communications", John Wiley, 2005.
- [3] Holma, H., Toskala, A., "LTE for UMTS", John Wiley, 2009
- [4] Freeman, R., "Radio System Design for Telecommunications", John Wiley 2007